

高密度光ファイバケーブルの構造設計法に関する研究

著者	秦野 諭示
号	1156
発行年	1990
URL	http://hdl.handle.net/10097/9963

氏 名	秦 野 諭 示
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成 2 年 10 月 11 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 47 年 3 月 東北大学工学部電気工学科卒業
学 位 論 文 題 目	高密度光ファイバケーブルの構造設計法に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 安達 三郎 東北大学教授 宮城 光信 東北大学教授 川上彰二郎

論 文 内 容 要 旨

半導体レーザの発明と低損失光ファイバの開発とを基盤として多くの研究が行われ、光ファイバ通信システムが実用化されてきた。しかし、その適用範囲は中継伝送系が中心であって、加入者伝送系への本格的普及は今後の課題である。この課題を解決するための要素技術のひとつは、加入者系に適用し得る光ファイバケーブルである。本論文は、光ファイバ通信システムを加入者系に普及させるために不可欠な加入者用光ファイバケーブルに関して研究を行った結果をまとめたものである。

光加入者系では、局（又はセンタ）と加入者の間を一对一に光ファイバで接続するため、局近傍には多数の光ファイバが集中する。従って、多数の光ファイバを、本来の特性を損なうことなく高密度に集合したケーブルが必要となる。光加入者系では、また、光ファイバケーブルの経済性が要求される。このふたつの要求に応え得る光ファイバケーブルを実現することが本研究の目的である。

日本においては、光加入者伝送システムに先行して光中継伝送システムが実用化され、そこに必要なケーブルが実用化された。その過程で蓄積された技術は、特に光損失特性の向上の点で有効であり、加入者用ケーブルにも応用できた。しかし、上記の要求条件（特に、高密度・多心という要求条件）を満足するには不十分であり、新たな研究が必要であった。一方欧米においては、多心を狙ったケーブルの研究が進められ、いくつかの提案・実験があったが、逆に性能（特に損失特性）の点で不十分であり、直ちに実用に供し得るものではなかった。

本論文第 2 章では、解決すべき問題を整理するとともに研究手法を述べる。上記目的を達成するため、光ファイバ保護構造・ケーブル構造の変革を行うことが主要研究課題であった。この研究課題は、3つのステージに分割できた。第 1 は、光ファイバの高密度なユニット（集合単位）を選定する課題、第 2 は、そのユニットの構造設計手法に係わる課題、第 3 は、ユニットのケーブル実装

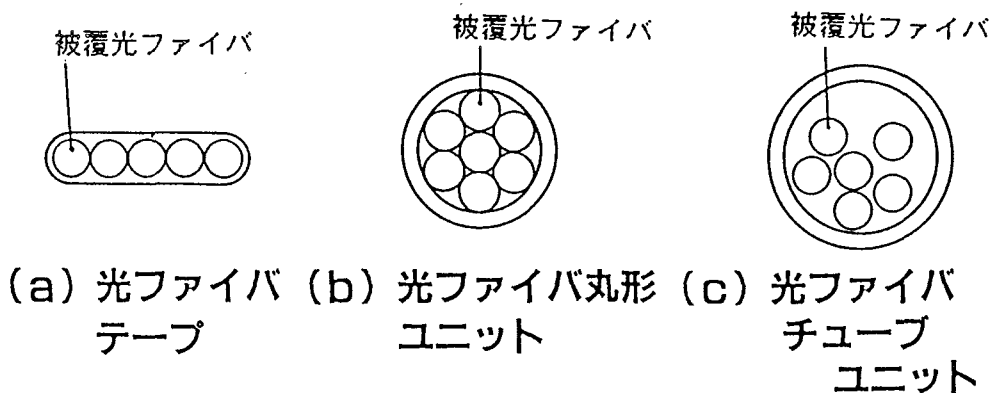


図1 高密度高ファイバケーブル用のユニットの候補

の課題である。3つのステージに共通な技術的観点は、光ファイバの損失増加の抑制と伸びひずみの抑制であった。

第3章では、まず光ファイバユニットの選定方法と選定結果を述べ、次に、選定した光ファイバテープの構造設計法を述べる。

高密度化に適したユニット構造として、図1に示す3つの候補を比較し、その中から高密度性と接続性に優れた光ファイバテープを選択した。AT&Tが提案した従来の光ファイバテープは、光ファイバ素線（光ファイバに薄い被覆を施したもの）を複数本アレイ状に並べ、接着テープで挟んでサンドイッチ構造にしたものであった。しかし、ケーブル化による光損失が大きいことと製造スピードの制限から、前記要求条件を満足するものではなかった。そこで、著者らは光ファイバテープの被覆材料として、紫外線（UV）硬化樹脂を適用することを提案した。UV硬化樹脂を被覆材料とする光ファイバテープの伝送特性上の問題は、低温における光損失増加であった。光ファイバには、外部応力の緩和のために緩衝層として作用する緩衝被覆を設けているが、低温において緩衝被覆のヤング率が増大し緩衝効果を失うことが光損失増加の原因であることを明らかにした。さらに、緩衝被覆の低温ヤング率と低温損失増加の関係を実験的に定量化した。また、緩衝被覆の周囲に設けた保護被覆のヤング率と線膨張率が低温損失増加に及ぼす影響を明らかにした。これらの結果をもとに、光ファイバテープの構造および材料定数設計法を明らかにすることができ、構造パラメータを決定することが可能となった。

光ファイバテープでは、複数の光ファイバが近接して配置されているため、光ファイバ相互の光結合が懸念された。著者は、曲がりによって光ファイバ間の光結合が生ずることを実験的に見出した。光結合のメカニズムを理論的・実験的に検討し、光結合が生ずる光ファイバ被覆の条件を明らかにした。また、光ファイバテープの通常の使用条件下では、隣接ファイバ間の光結合が -40dB 以下であり、問題とされないレベルであることを確認した。

第4章では、光ファイバテープを高密度にかつ経済的に実装する第一の手法として、図2に示すチューブ構造をとりあげ、構造設計法の検討を行った結果を述べる。

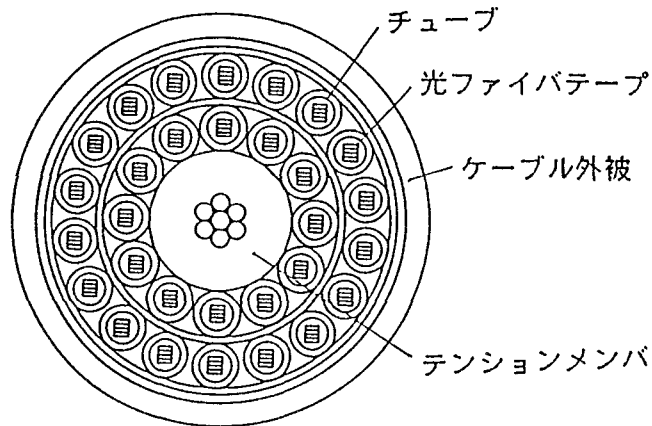


図2 チューブ形ケーブル構造

光ファイバテープを、断面が円形のチューブ内に收容する場合、光ファイバ余長（光ファイバテープとそれを收容するチューブとの長さの差）があると、光ファイバテープがチューブ内で正弦波状にうねって光損失増が生ずることを実験的に見出した。光ファイバ余長率と光損失増の関係を検討し、両者を結びつける関係式を求めた。この結果をもとに、余長に対する制限条件を明らかにした。

光ファイバケーブルは、布設中および布設後に各種の外力（例えば曲がり、温度伸縮）を受けるが、このような条件下でも安定な特性を維持することが要求される。そこで、ケーブル曲がりと温度伸縮によるファイバひずみを計算し、許容ひずみを保証するためのチューブ内クリアランスとチューブ撖りピッチの適用領域を明らかにした。

以上の検討に基づき、5心光ファイバテープをチューブ内に4枚收容して構成する20心チューブユニットと、それを集合して構成した600心光ファイバケーブルの具体的設計例を示した。併せて、数条のケーブルを試作して実用性を確認した。

第5章では、光ファイバテープを高密度にかつ経済的に実装する第二の手法として、図3に示すように、プラスチック線状体に設けたらせん状スロット（溝）に光ファイバテープをタイトに積層する構造（スロット構造）を研究した結果を述べる。光ファイバテープをスロット内にタイトに收容することによって、テープの配列乱れを防止し、製造条件の制御を容易にし、ケーブルのコンパクトさを実現できるが、テープに対する側圧による光損失増をもたらす。そこで、光ファイバテープに対する側圧の大きさをケーブル構造パラメータの関数として定式化した。光損失増加を0.1dB（500mのケーブルに対する値）以下に抑えることを要求条件とし、ケーブル構造パラメータの適用領域を与えた。さらに、光ファイバは、ケーブル内で種々のひずみをこうむる。そこで、光ファイバひずみの制限から、スロットのらせんピッチの適用領域を与えた。以上の検討の結果、スロット形光ファイバケーブルの設計手法が明確となった。この設計手法に基づき、600心光ファイバケーブルを試作し、その特性を実験的に確認した。

第4章で述べたチューブ形ケーブル構造と第5章で述べたスロット形ケーブル構造との比較の結

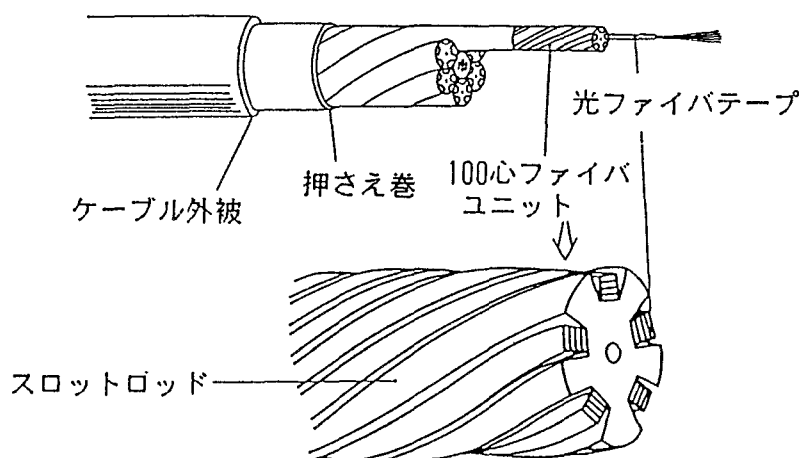


図3 スロット形ケーブル構造

果、高密度性、経済性、建設作業性の点で後者が優れることがわかり、スロット形ケーブル構造を実用化することとした。

第6章では、空中に架設して用いる自己支持形光ファイバケーブルの設計法について述べる。自己支持形光ファイバケーブルは、布設作業性・安全性の面で利点がある。しかし、ケーブル自体に張力を加えた状態で架設するため、光ファイバの信頼性が問題であった。そこで、自己支持形光ファイバケーブルにおける光ファイバのひずみの観点からの設計の考え方を示した。ケーブルの架設、温度上昇および風圧による光ファイバの伸びを計算し、ひずみの制限条件からケーブル構造設計法を明らかにした。さらに、自己支持形光ファイバケーブルを実際に試作し、架設実験を行うことによってケーブルの損失特性、光ファイバひずみ特性を定量的に示し、同ケーブルの可能性を示唆した。

以上述べたように、光ファイバを高密度にかつ経済的にケーブル化する手法と、具体的設計法を明らかにした。その設計法に基づいて、光ファイバユニットおよび光ファイバケーブルを試作評価し、特性を確認した。その結果、実用に供し得るUV硬化樹脂光ファイバテープ、それを用いた高密度多心光ファイバケーブルを実現することができた。このケーブルは、現在わが国の主要通信ケーブルとして導入が進み、きたるべき広帯域加入者通信時代への基盤が構築されつつある。

審 査 結 果 の 要 旨

光ファイバ通信の加入者系への導入は将来の高度情報社会の構築にとって極めて重要な課題である。このためには、光ファイバの本来の特性を損うことなく高密度で経済的な光ファイバケーブルを開発する必要がある。本論文はこの目的に適した光ファイバケーブルの提案を行い、その構造設計法を確立すると共に、試作試験によって実用の見通しを示したもので、全編7章よりなる。

第1章は序論で、光ファイバケーブルに関するこれまでの研究経緯について概説し、本論文の意義を明らかにしている。

第2章では、光ファイバケーブルの高密度化に関する問題点と、これらを解決するための研究手法について述べている。

第3章では、光ファイバユニットの選定と、その構造設計法について述べている。高密度性、製造スピード、接続の容易性の観点から光ファイバテープを選択すべきであると結論するとともに、材料費、加工費の低減のためにテープの被覆材料としてUV硬化樹脂を用いることを提案している。次に、低温における光伝送損失の増加を防ぐための検討を行い、緩衝被覆の低温でのヤング率および保護被覆のヤング率と線膨張率が、低温で伝送損失に及ぼす影響を定量的に明らかにし、これらの結果を基に光ファイバテープの構造および材料定数の最適値を導いているが、これらは極めて有用な知見である。

第4章では、光ファイバテープを高密度かつ経済的にケーブルとして実装する一手法としてチューブユニット構造をとりあげ、その構造設計法を明らかにし、600心ケーブルの試作を行い、この実用性を確認している。

第5章では、テープの実装の他の手法として、プラスチック円柱線のまわりに設けた多重らせん状スロットにテープをタイトに積層したスロット構造ユニットを提案し、テープに対する側圧に基づく光損失増加を $0.1\text{dB}/500\text{m}$ 以下に抑えるための構造パラメータの関係を与え、構造設計法を明らかにしている。次いで、500心ケーブルを試作して、このケーブルの実用性を確認している。これは $1.5\text{心}/\text{mm}$ の従来にない高密度ケーブルを実現したものであり、最も優れた特性を持つケーブルであると結論している。

第6章では、ケーブルの架設のために鋼撚り線と光ケーブルを一体化した自己支持構造の諸問題について論じている。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、加入者系に用いられる高密度光ファイバケーブルについて研究を行い、UV硬化樹脂光ファイバテープを用いたスロットユニット構造を持つ優れたケーブルを提案し、その設計法を確立したもので、通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。